

5367-69



Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

Aktenzeichen: 103 20 160.2

Anmeldetag: 06. Mai 2003

Anmelder/Inhaber: Osram Opto Semiconductors GmbH,
93049 Regensburg/DE

Bezeichnung: Verfahren zum Herstellen einer Mehrzahl
von Halbleiterkörper und elektronischer
Halbleiterkörper

Priorität: 14.02.2003 EP 030 03 442.5
30.04.2003 DE 103 19 555.6

IPC: H 01 L 33/00

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 15. Januar 2004
Deutsches Patent- und Markenamt

Der Präsident

Im Auftrag

Wallner

Beschreibung

Verfahren zum Herstellen einer Mehrzahl von Halbleiterkörper und elektronischer Halbleiterkörper

5

- Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Aufwachsen von Nitrid-Verbindungshalbleitermaterial, insbesondere aus dem System $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ mit $0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$ und $x+y \leq 1$, auf ein Substrat oder auf eine Initialschicht. Sie betrifft insbesondere ein Verfahren zur Herstellung von entsprechenden strahlungsemittierenden und/oder strahlungsdetektierenden Halbleiterchips für optoelektronische Bauelemente sowie Leistungstransistoren.
- 15 Nitrid-Verbindungshalbleitermaterialien sind Verbindungshalbleitermaterialien, die Stickstoff enthalten, wie die bereits genannten Materialien aus dem System $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ mit $0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$ und $x+y \leq 1$. Unter die Gruppe von strahlungsemittierenden und/oder strahlungsdetektierenden Halbleiterchips auf Basis von Nitrid-Verbindungshalbleitermaterial fallen vorliegend insbesondere solche Halbleiterchips, bei denen die epitaktisch hergestellte Halbleiterschicht, die in der Regel eine Schichtfolge aus unterschiedlichen Einzelschichten aufweist, mindestens eine Einzelschicht enthält, die ein Material aus dem Nitrid-Verbindungshalbleitermaterial-System aufweist. Die Halbleiterschicht kann beispielsweise einen herkömmlichen pn-Übergang, eine Doppelheterostruktur, eine Einfach-Quantentopfstruktur (SQW-Struktur) oder eine Mehrfach-Quantentopfstruktur (MQW-Struktur) aufweisen. Solche Strukturen sind dem Fachmann bekannt und werden von daher an dieser Stelle nicht näher erläutert. Beispiele für solche MQW-Strukturen sind in den Druckschriften WO01/39282, WO 98/31055, US 5,831,277, EP 1 017 113 und US 5,684,309 beschrieben, deren Offenbarungsgehalt insofern
- 25
30
35
- hiermit durch Rückbezug aufgenommen wird.

Es ist bekannt, ein Halbleitermaterial epitaktisch auf einem Substrat aufzuwachsen, dessen Gitterkonstante an die Gitterkonstante des Halbleitermaterials angepasst ist, um eine verbesserte Kristallqualität und weniger Kristalldefekte zu erhalten. Im Falle der Nitrid-Verbindungshalbleitermaterialien ist bisher kein gitterangepasstes Substrat bekannt, das auch für die Massenfertigung von solchen Halbleiterchips hinreichend geeignet ist. Daher werden häufig Substrate auf Basis von Saphir, Siliziumcarbid oder Spinell verwendet, obwohl ihre Gitterkonstante nicht optimal zu der von Nitrid-Verbindungshalbleitermaterial angepasst ist.

Da mit Hilfe der Nitrid-Verbindungshalbleiter die Herstellung von optoelektronischen Bauelementen, insbesondere Halbleiterlasern beabsichtigt ist, und da diese Bauelemente je nach Einzelfall eine hohe thermische Verlustleistung entwickeln, ist das Material Saphir wegen seiner schlechten Wärmeleitfähigkeit nur äußerst bedingt für die Herstellung von Leistungs-Laserdioden geeignet. Die Verwendung von Siliziumcarbid als Substratmaterial hat den Vorteil einer guten Wärmeleitfähigkeit.

Bekannt ist weiterhin, spezielle Abscheideverfahren zur Reduzierung der Defektdichte im Halbleitermaterial zu verwenden. Ein solches beispielhaftes Verfahren zum lateralen Überwachsen, welches oftmals als LEO-Verfahren (Lateral Epitaxial Overgrowth) oder ELOG-Verfahren (Epitaxial Lateral Overgrowth) bezeichnet wird, ist aus Song et al., phys. stat. sol. (a) 180, 247 (2000), bekannt, deren Inhalt insofern hiermit durch Rückbezug aufgenommen wird.

Bei den darin beschriebenen Verfahren zum Herstellen einer Galliumnitrid-Schicht auf einem Saphirsubstrat wird auf dem Saphirsubstrat zunächst eine dünne Initialschicht (seed layer) aufgewachsen und auf dieser eine streifenförmige Siliziumnitrid-Maskenschicht aufgebracht. Bei einer nachfolgenden Abscheidung von Trimethylgallium und Ammoniak wächst zunächst

eine Mehrzahl von Galliumnitrid-Schichten zwischen den Maskenstreifen auf. Sobald die Galliumnitrid-Schichten die Dicke der Maskenschicht erreicht haben, tritt neben dem vertikalen Wachstum ein laterales Wachstum auf, so dass die Maskenschicht von den Galliumnitrid-Schichten lateral überwachsen wird. Dieser Prozeß wird fortgesetzt, bis eine geschlossene Galliumnitrid-Schicht vorliegt.

Es hat sich gezeigt, dass die Versetzungsdichte in der durch laterales Überwachsen hergestellten Galliumnitrid-Schicht vorteilhaft gering ist und sich insbesondere gegenüber einer auf dem Saphirsubstrat unmittelbar aufgewachsenen Schicht durch eine höhere Kristallqualität auszeichnet.

Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Herstellung einer Mehrzahl von Halbleiterchips anzugeben, das eine Defektreduzierung in der Bauelement-Schichtenfolge ermöglicht. Weiterhin soll ein entsprechend hergestellter elektronischer Halbleiterchip angegeben werden.

Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Patentanspruches 1 sowie durch einen elektronischen Halbleiterkörper mit den Merkmalen des Patentanspruches 14 gelöst.

Vorteilhafte Ausführungsformen und bevorzugte Weiterbildungen des Verfahrens und des Halbleiterkörpers sind in den abhängigen Patentansprüchen angegeben.

Ein Verfahren zum Herstellen einer Mehrzahl von Halbleiterkörper, insbesondere auf der Basis von Nitrid-Verbindungshalbleitermaterial, das auf der Erfindung beruht, weist folgende Verfahrensschritte auf:

(a) Ausbilden einer Maskenschicht über oder auf einem Substrat oder über oder auf einer Initialschicht, die mehrere Fenster zum Substrat bzw. zur Initialschicht aufweist und auf die sich ein in einem späteren Verfahrens-

schritt auf das Substrat aufzuwachsendes Halbleitermaterial im Wesentlichen nicht oder im Vergleich zum Substrat wesentlich schlechter aufwachsen lässt,

5 (b) Rückätzen des Substrates bzw. der Initialschicht in den Fenstern, derart, dass ausgehend von diesen im Substrat und/oder gegebenenfalls in der Initialschicht Gruben ausgebildet werden,

10 (c) Aufwachsen des Halbleitermaterials auf das Substrat und/oder gegebenenfalls auf die Initialschicht, derart, dass ein laterales Wachstum begünstigt wird und das Halbleitermaterial

- zunächst in erster Linie ausgehend von den Flanken
15 (oder Facetten) der Gruben zu deren Mitte hin aufwächst und dort einen Koaleszenzbereich bildet, so dass Defekte im Substrat bzw. in der Initialschicht, die auf die Flanken der Gruben treffen, im Halbleitermaterial zur Mitte der Gruben hin abknicken und am Koaleszenzbereich
20 enden oder in diesen münden, und

- nachfolgend ausgehend von den Fenstern die Maskenschicht überwächst und jeweils zwischen benachbarten Fenstern über der Maskenschicht zusammenwächst und dort einen weiteren Koaleszenzbereich bildet,

25 (d) Aufwachsen einer Bauelement-Schichtenfolge auf das Halbleitermaterial, und

(e) Vereinzeln des Verbundes aus Substrat, Maskenschicht, Halbleitermaterial und Bauelement-
30 Schichtenfolge in einzelne Halbleiterchips.

Der Vollständigkeit halber sei darauf hingewiesen, dass im Falle des Vorhandenseins einer Initial-Schicht, die beispielsweise durch eine aus den herkömmlichen Chipstrukturen
35 bekannte Pufferschicht realisiert sein kann, die Gruben nur

in dieser ausgebildet sein können oder die Initial-Schicht durchdringen und bis ins Substrat reichen können.

Materialien wie Silizium, Siliziumkarbid, Spinell oder Saphir eignen sich beispielsweise als Substrat-Material. Bevorzugt wird ein Substrat aus Silizium bzw. ein Silizium-haltiges Substrat, zum Beispiel eine SiC-Substrat verwendet. Silizium ist kostengünstig und hat relativ zu vielen anderen Halbleitermaterialien vorteilhafterweise einen deutlich kleineren thermischen Ausdehnungskoeffizient als die herkömmlich eingesetzten Nitrid-Verbindungshalbleitermaterialien.

Vorzugsweise wird zum Aufwachsen des Halbleitermaterials ein ELOG-Verfahren verwendet. Durch das laterale Wachstum und das Zusammenwachsen von Halbleitermaterial aus unterschiedlichen Bereichen des Substrats und/oder gegebenenfalls der Initial-Schicht wird im Halbleitermaterial ein Koaleszenzbereich gebildet. Der Koaleszenzbereich ist derjenige Bereich, in dem die aufwachsenden Schichten aus zumindest zwei unterschiedlichen Bereichen aufeinandertreffen und zusammenwachsen.

Bevorzugt wird das Halbleitermaterial und/oder die Bauelement-Schichtenfolge mittels eines MOVPE-Verfahrens aufgewachsen. Durch geeignete Einstellung der Wachstumsbedingungen, wie beispielsweise des Druckes, der Temperatur, des V/III-Verhältnisses und/oder durch Zuschalten von Cp_2Mg oder TMIIn , wird ein laterales Wachstum begünstigt. Vorliegend wird damit ein bevorzugtes Wachstum in Facettenrichtung der Gruben erreicht, d.h., das Haupt-Wachstum des Halbleitermaterials erfolgt im wesentlichen in einer Richtung, die senkrecht zu den Facetten der Gruben verläuft. Demzufolge werden die Bereiche zwischen den Facetten durch laterales Wachstum gefüllt was schließlich zum Zusammenwachsen des Halbleitermaterials in den Gruben von den Flanken der Gruben her führt. Nachfolgend wächst das Halbleitermaterial in den Fenstern auf und überwächst danach von diesen aus die Maskenschicht in latera-

ler Richtung, bis eine geschlossene Schicht aus Halbleitermaterial vorliegt.

Vorzugsweise weist das Halbleitermaterial nach dem Zusammenwachsen eine weitgehend planare Oberfläche auf. Somit ist bevorzugt ein weitgehend gitterangepaßtes Halbleitermaterial mit wenig Kristallstörungen bzw. -defekten als Grundlage für das Wachstum der Bauelement-Schichtenfolge bereitgestellt.

10 Vor dem Aufwachsen des Halbleitermaterials kann auf das Substrat eine Initial- oder Bufferschicht aufgebracht werden. Eine solche Initial- oder Buffer-Schicht kann unter anderem dazu dienen, die Kristallqualität des nachfolgend aufgewachsenen Halbleitermaterials zu verbessern. Sie kann vor oder
15 nach dem Aufbringen der Maskenschicht auf das Substrat aufgebracht werden. Wenn sie vor der Maskenschicht aufgebracht wird, erfolgt dies vorzugsweise ganzflächig auf dem Substrat und die Maskenschicht wird auf die Buffer-Schicht aufgebracht. Wenn sie dagegen nach der Maskenschicht aufgebracht
20 wird, erfolgt dies beispielsweise lediglich in den Fenstern der Maskenschicht auf dem Substrat.

Vorzugsweise wird eine Maskenschicht verwendet, die Siliziumnitrid (SiN) enthält. Unter SiN sind in diesem Zusammenhang
25 sowie im Folgenden alle vorkommenden Siliziumnitride Si_xN_y zu verstehen, also beispielsweise auch Si_3N_4 .

In einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform weist die Maskenschicht eine gitterartige bzw. netzartige Struktur auf.
30

Das Halbleitermaterial kann eine einzige Epitaxie-Schicht oder eine Mehrzahl von Epitaxie-Schichten aus verschiedenen Halbleiterverbindungen aufweisen.

35 In einer weiteren Ausführungsform wird gemäß den Verfahrensschritten (a) bis (c) ein erstes Halbleitermaterial aufgewachsen und danach eine zweite Maskenschicht vorzugsweise auf

das erste Halbleitermaterial aufgebracht. Die zweite Maskenschicht weist Fenster zum ersten Halbleitermaterial auf. Nachfolgend wird ein zweites Halbleitermaterial in den Fenstern der zweiten Maskenschicht auf das erste Halbleitermaterial aufgebracht. Das zweite Halbleitermaterial überwächst die zweite Maskenschicht und bildet analog Schritt (c) über der Maskenschicht jeweils zwischen zwei benachbarten Fenstern Koaleszenzbereiche aus. Vorzugsweise weist das zweite Halbleitermaterial nach dem Zusammenwachsen und gegebenenfalls einem weiteren Aufwachsen von Halbleitermaterial eine plane Oberfläche auf, die für das Aufwachsen der Bauelement-Schichtenfolge bereitgestellt ist. Vor dem Aufwachsen des zweiten Halbleitermaterials können in das erste Halbleitermaterial in den Fenstern der zweiten Maskenschicht analog Schritt (b) Gruben geätzt werden.

Vor dem Aufwachsen der Bauelement-Schichtfolge können die oben erläuterten Schritte mehrfach wiederholt werden. Die verschiedenen Halbleitermaterialien können die gleiche oder unterschiedliche Zusammensetzungen und/oder Dicken aufweisen.

Die Bauelement-Schichtenfolge enthält vorzugsweise zumindest einen aktiven Bereich, der im Betrieb elektromagnetische Strahlung emittiert, vorzugsweise eine Lumineszenzdiodenstruktur oder eine Laserdiodenstruktur.

Das Verfahren ist besonders zum Aufwachsen einer Bauelement-Schichtenfolge geeignet, die eine Verbindung von Elementen der dritten und fünften Hauptgruppe, besonders bevorzugt ein Nitrid-Verbindungshalbleitermaterial wie zum Beispiel GaN, AlN, InGaN, AlGaIn, AlInN und/oder AlInGaIn enthält. Das Verfahren eignet sich jedoch grundsätzlich auch zum Aufwachsen anderer Halbleitermaterialien, wie beispielsweise InGaAlP-basierte Materialien.

35

Das Halbleitermaterial ist vorzugsweise als eine einzige Halbleiterschicht oder als eine Halbleiter-Schichtenfolge

ausgebildet. Bevorzugt werden die Maskenschicht, das Halbleitermaterial und die Bauelement-Schichtenfolge in-situ in einem Epitaxiereaktor während eines Epitaxie-Laufs epitaktisch aufgewachsen. Gegebenenfalls wird dabei auch die Initial- oder Buffer-Schicht aufgewachsen. Diese kann aber auch schon vorher auf das Substrat aufgebracht worden sein.

Mit einem Verfahren gemäß der Erfindung wird zum einen eine vertikale Ausbreitung von Defekten an den maskierten Bereichen durch die Maskenschicht gestoppt und werden zum anderen Defekte im Substrat und/oder gegebenenfalls in der Initialschicht, die auf die Grubenfacetten treffen, aufgrund des lateralen Wachstums in den Gruben im Wesentlichen zu deren Mitte hin umgelenkt und enden am oder münden in den Koaleszenzbereich.

Das erfindungsgemäße Verfahren führt vorteilhafterweise mittels besonderer Verfahrensschritte in-situ während des epitaktischen Wachstums zu einer Defektreduzierung insbesondere in der Bauelement-Schichtenfolge. Ex-situ Maßnahmen wie Aufbringen von Maskenschichten außerhalb des Epitaxiereaktors, Photolithographie und Ätzen sind für die erfindungsgemäßen Verfahrensschritte nicht erforderlich. Der Wafer kann bei allen erfindungsgemäßen Prozess-Schritten im Epitaxiereaktor verbleiben.

Das Verfahren eignet sich zur Anwendung bei der Herstellung von GaN-basierten Halbleiterbauelementen wie sie beispielsweise in der Europäischen Patentanmeldung mit der Anmeldenummer 03003442.5 angegeben sind. Der Offenbarungsgehalt dieser Europäischen Patentanmeldung wird hiermit ausdrücklich durch Rückbezug aufgenommen

Weitere Vorteile, bevorzugte Ausführungsformen und Weiterbildungen des Verfahrens und des elektronischen Halbleiterkörpers ergeben sich aus den im Folgenden in Verbindung mit den

Figuren 1a bis 5 erläuterten Ausführungsbeispielen. Es zeigen:

5 Figuren 1a bis 1d schematische Darstellungen (1a und 1ba als perspektivisch Ansichten und 1bb bis 1d Schnittansichten) eines Wafers bei verschiedenen Verfahrensstadien während eines Verfahrens gemäß einem ersten Ausführungsbeispiel,

10 Figuren 2a und 2b schematische Schnittdarstellungen eines Wafers bei verschiedenen Verfahrensstadien während eines Verfahrens gemäß einem zweiten Ausführungsbeispiel,

15 Figur 3 eine schematische Schnittdarstellung eines Wafers in einem bestimmten Verfahrensstadium während eines Verfahrens gemäß einem dritten Ausführungsbeispiel, und

20 Figur 4 eine schematische Schnittdarstellung eines Wafers in einem bestimmten Verfahrensstadium während eines Verfahrens gemäß einem vierten Ausführungsbeispiel.

25 In den Ausführungsbeispielen und Figuren sind gleiche oder gleichwirkende Bestandteile jeweils mit den gleichen Bezugszeichen versehen. Die dargestellten Schichtdicken sind nicht als maßstabsgerecht anzusehen. Sie sind vielmehr zum besseren Verständnis übertrieben dick und nicht mit den tatsächlichen Dickenverhältnissen zueinander dargestellt.

30

Bei dem in den Figuren 1a bis 1d schematisch dargestellten Verfahrensablauf wird zunächst auf einem SiC-basierten, insbesondere auf einem aus SiC bestehenden Substrat 1 eine Initial-Schicht 2 in Form einer AlGaN-basierten oder aus AlGaN bestehende Pufferschicht (Figur 1a) und nachfolgend auf dieser eine nicht geschlossene SiN-basierte oder aus SiN bestehende Maskenschicht 3 hergestellt (Figuren 1ba und 1bb).

Die Pufferschicht 2 und die Maskenschicht 3 werden in-situ in ein und demselben MOVPE(Metal Organic Vapor Phase Epitaxy)-Epitaxiereaktor (angedeutet durch die strichpunktierte Linie 9) hergestellt.

5

Die Herstellung einer nicht geschlossenen SiN-Schicht erfolgt beispielsweise durch Zuschalten von SiH_4 und NH_3 bei geeigneter Reaktortemperatur. Solche Verfahren sind beispielsweise in Hageman, P. R. et al, phys. stat. sol. (a) 188, No. 2

10

(2001), 659-662, und in Wang, T. et al, Journal of Crystal Growth 213 (2000), 188-192, beschrieben, die hiermit insofern durch Rückbezug aufgenommen werden. Alternativ kann als Si-Quelle auch Tetraethyl-Silizium ($\text{Si}(\text{C}_2\text{H}_5)_4$) oder eine ähnliche Si-haltige Verbindung, die sich in der Epitaxie eignet, verwendet werden.

15

Die Maskenschicht 3 weist zufällig verteilt eine Vielzahl von grundsätzlich unterschiedlich großen und unterschiedlich geformten Fenstern 4 zur Initial-Schicht 2 hin auf.

20

Nachfolgend werden in-situ in den Fenstern 4 der Maskenschicht 3 Gruben 41 in die Initial-Schicht 2 geätzt (Figur 1c). Dies erfolgt beispielsweise unter NH_3 -Atmosphäre und Erhöhung der Temperatur über die Desorptionstemperatur der Initial-Schicht 2 im Epitaxiereaktor. Alternativ kann das Ätzen auch durch Erhöhung der Temperatur über die Desorptionstemperatur ohne NH_3 -Atmosphäre oder durch Einleitung von alternativen Ätzgasen wie HCl oder anderen Chlor- bzw. Wasserstoffhaltigen Gasen bei geeigneter Reaktortemperatur erfolgen.

25

30

Die Form der Gruben 41 und damit der geätzten Facetten der Initial-Schicht 2 lässt sich beispielsweise durch Variation von Reaktordruck, Temperatur und/oder Gaszusammensetzung gezielt beeinflussen (man vergleiche dazu die Figuren 2a, 3 und 4), so dass bei einem nachfolgenden Überwachsen eine Ausbreitung der Defekte in vertikaler Richtung möglichst gut

35

unterbunden werden kann. Es können beispielsweise Gruben mit senkrechten, steilen, flachen und/oder mehrstufigen Facetten ausgebildet werden.

5 Nach dem Ätzen der Gruben 41 wird ein Halbleitermaterial 5 beispielsweise der Zusammensetzung $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ mit $0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$ und $x+y \leq 1$ mittels metallorganischer Gasphasenepitaxie in den Fenstern 4 auf die Initial-Schicht 2 aufgewachsen (man vergleiche Figur 1d). Durch geeignete Einstellung
10 lung der Wachstumsbedingungen, wie beispielsweise des Druckes, der Temperatur, des V/III-Verhältnisses und/oder Zuschalten von Cp_2Mg oder TMIn , wird ein laterales Wachstum begünstigt. Vorliegend wird damit ein bevorzugtes Wachstum in Facettenrichtung der Gruben 41 erreicht, d.h., das Haupt-
15 Wachstum des Halbleitermaterials 5 erfolgt im wesentlichen in einer Richtung, die senkrecht zu den Facetten 43 der Gruben 41 verläuft. Demzufolge werden die Bereiche zwischen den Facetten 43 durch laterales Wachstum gefüllt was schließlich zum Zusammenwachsen des Halbleitermaterials 5 in den Gruben
20 41 von den Flanken der Gruben 41 her führt. Im weiteren wächst das Halbleitermaterial 5 in den Fenstern 4 auf und überwächst nachfolgend von diesen aus die Maskenschicht 3 in lateraler Richtung, bis eine geschlossene Schicht aus Halbleitermaterial vorliegt. Bei dieser Vorgehensweise wird zum
25 einen eine vertikale Ausbreitung von Defekten 81 an den maskierten Bereichen durch die Maskenschicht 3 gestoppt und zum anderen aufgrund des lateralen Wachstums in den Gruben ein Abknicken von auf die Gruben treffenden Defekten 82 zur Mitte der Gruben hin bewirkt (vgl. Figuren 1d und 2b).

30

Verfahren zum lateralen Wachstum sind beispielsweise in den Druckschriften Beaumont, B. et al, Phys. Stat. Sol. (b) 227(2001), No. 1, S. 1-43; Li, X. et al, Applied Physics Letters (1998), Vol. 73, Number 9, p. 1179-1181; Song, Y. H.
35 et al, Phys. Stat. Sol. (a) 180(2000), S. 247-250; und Zheleva, T. S. et al, MRS Internet J. Nitride Semicond. Res. 4S1,

G3.38 (1999) beschrieben, die insofern hiermit durch Rückbezug aufgenommen werden.

Das Halbleitermaterial 5 wächst also zunächst in erster Linie
5 ausgehend von den Facetten 43 der Gruben 41 zu deren Mitte 42
hin auf und bildet dort einen Koaleszenzbereich 61. Die Pfeile
10 geben die diesbezügliche Wachstumsrichtung an. Defekte
82 der Initialschicht 2, die auf Facetten 43 der Gruben 41
treffen, knicken im Halbleitermaterial 5 zur Grubenmitte 42
hin ab und enden in oder münden in den Koaleszenzbereich 61.
Nachfolgend überwächst ausgehend von den Fenstern 4 das Halb-
leitermaterial 5 die Maskenschicht 3 und bildet jeweils zwi-
schen benachbarten Fenstern 4 über der Maskenschicht 3 einen
weiteren Koaleszenzbereich 62. Über der Maskenschicht 3
15 wächst somit das Halbleitermaterial 5 aus benachbarten Fen-
stern 4 zusammen. Die Pfeile 11 geben die diesbezügliche
Wachstumsrichtung an.

Andere epitaktische Wachstumsverfahren, wie ELOG oder ein ein
20 ähnliches Wachstum ermöglichendes Verfahren, können alterna-
tiv vorgesehen sein.

Nach dem Zusammenwachsen des Halbleitermaterials 5 über der
Maskenschicht 3 wird durch weiteres Aufwachsen von Halblei-
25 termaterial 5 eine für das Aufwachsen einer Bauelement-
Schichtenfolge 8 geeignete bevorzugt planare oder weitgehend
planare Oberfläche 7 des Halbleitermaterials 5 gebildet. Auf
dieser vom Substrat 1 abgewandten Oberfläche 7 des Halblei-
termaterials 5 wird nachfolgend die Bauelement-Schichtenfolge
30 8 aufgewachsen (Figur 1d). Diese basiert beispielsweise auf
Nitrid-Verbindungshalbleitermaterialien, wie sie bereits
eingangs erläutert worden sind. Die Bauelement-Schichtenfolge
8 weist beispielsweise eine Lumineszenzdiodestruktur oder
eine Laserdiodestruktur auf. Solche Bauelementstrukturen
35 sind dem Fachmann bekannt und weisen zum Beispiel einen her-
kömmlichen pn-Übergang, eine Doppelheterostruktur, eine Ein-
fach-Quantentopfstruktur (SQW-Struktur) oder eine Mehrfach-

Quantentopfstruktur (MQW-Struktur) auf. Beispiele für solche MQW-Strukturen sind in den Druckschriften WO01/39282, WO 98/31055, US 5,831,277, EP 1 017 113 und US 5,684,309 beschrieben, deren Offenbarungsgehalt insofern hiermit durch
5 Rückbezug aufgenommen wird.

Der Verbund aus Substrat 1, Initial-Schicht 2, Maskenschicht 3, Halbleitermaterial 5 und Bauelement-Schichtenfolge 8 kann nun gegebenenfalls nach einem Aufbringen von Kontaktstrukturen und/oder -metallisierungen mittels herkömmlicher Methoden
10 beispielsweise mittels Sägen oder Ritzen und Brechen zu Halbleiterkörpern vereinzelt werden.

In einer Variante des Ausführungsbeispiels wird die Initial-Schicht 2 weggelassen und die Maskenschicht 3 unmittelbar auf
15 das Substrat 1 aufgebracht.

Soweit nichts anderes angegeben ist, gelten die obigen Ausführungen zum ersten Ausführungsbeispiel auch für die weiteren im Folgenden erläuterten Ausführungsbeispiele.
20

In den Figuren 2a und 2b sind Verfahrensschritte eines alternativen Verfahrensablaufs gemäß einem zweiten Ausführungsbeispiel schematisch dargestellt, die den Verfahrensschritten 1c und 1d entsprechen. Das zweite Ausführungsbeispiel unterscheidet sich von dem ersten Ausführungsbeispiel insbesondere dadurch, dass beim Rückätzen durch gezielte veränderte Einstellung der Ätzparameter, Gruben 41 mit schrägen Seitenflanken erzeugt werden, so dass sich die Gruben 41 mit zunehmender Tiefe verjüngen. Im Übrigen ist das grundsätzliche Verfahren gegenüber dem ersten Ausführungsbeispiel unverändert.
25
30

Die in den Figuren 3 und 4 gezeigten Schnittdarstellungen von Wafern 1,2,3 nach dem Ätzen der Gruben 41 veranschaulichen
35 mittels zweier unterschiedlicher Grubenformen die Tatsache, dass durch Variation der Ätzparameter unterschiedlich gestaltet werden können. Bei dem Wafer gemäß Figur 3 verlaufen die

Seitenflächen 43 der Gruben 41 ausgehend von der Grenze zur Maskenschicht 3 zunächst flach und werden im weiteren Verlauf steiler. Beim Wafer gemäß Figur 4 verlaufen die Seitenflächen 43 der Gruben 41 zunächst steil, gehen dann in einen flachen Verlauf über, bevor sie dann wieder steiler werden und aufeinandertreffen.

Mit Hilfe des erfindungsgemäßen Verfahrens können Halbleiterkörper hoher Kristallqualität hergestellt werden.

10

Optional können vor dem Aufwachsen der Bauelement-Schichtenfolge die Verfahrensschritte der Figuren 1a bis 1d und die entsprechenden Verfahrensschritte der weiteren Ausführungsbeispiele bis auf das Aufwachsen der Bauelement-Schichtenfolge 8 mehrmals wiederholt werden. Dabei werden abwechselnd mehrere Maskenschichten und Halbleitermaterial-Schichten übereinander erzeugt. Dadurch können Versetzungen im Halbleitermaterial weiter verringert werden, um eine weiter verbesserte Grundlage für das Aufwachsen der Bauelement-Schichtenfolge zu schaffen.

15
20

Die Beschreibung des Verfahrens anhand der Ausführungsbeispiele ist selbstverständlich nicht als Beschränkung der Erfindung auf diese zu verstehen. Vielmehr kann das Verfahren auch bei anderen Material-Systemen eingesetzt werden, bei denen ähnliche Problemstellungen existieren.

25

Patentansprüche

1. Verfahren zum Herstellen einer Mehrzahl von Halbleiterkörper, insbesondere auf der Basis von Nitrid-
5 Verbindungshalbleitermaterial, das zumindest die folgenden Verfahrensschritte umfasst:

(a) Ausbilden einer Maskenschicht (3) über einem Substrat (1) oder über einer Initialschicht (2), die mehrere Fenster (4) zum Substrat (1) bzw. zur Initialschicht (2)
10 aufweist und auf die sich ein in einem späteren Verfahrensschritt auf das Substrat (1) aufzuwachsendes Halbleitermaterial (5) im Wesentlichen nicht oder im Vergleich zum Substrat (1) wesentlich schlechter aufwachsen lässt,

(b) Rückätzen des Substrates (1) bzw. der Initialschicht (2) in den Fenstern (4), derart, dass ausgehend von diesen im Substrat (1) oder in der Initialschicht (2) Gruben (41) ausgebildet werden,

(c) Aufwachsen des Halbleitermaterials (5) auf das Substrat (1) oder auf die Initialschicht (2), derart, dass ein laterales Wachstum begünstigt wird und das Halbleitermaterial zunächst in erster Linie ausgehend von den
25 Flanken (43) der Gruben (41) zu deren Mitte (42) hin aufwächst und dort einen Koaleszenzbereich (61) bildet, so dass Defekte im Substrat (1) bzw. in der Initialschicht (2), die auf die Flanken (43) der Gruben (41) treffen im Halbleitermaterial zur Mitte der Gruben (41) hin abknicken und nachfolgend ausgehend von den Fenstern (4) die
30 Maskenschicht (3) überwächst und jeweils zwischen benachbarten Fenstern (4) über der Maskenschicht (3) zusammenwächst und dort einen weiteren Koaleszenzbereich (62) bildet,

(d) Aufwachsen einer Bauelement-Schichtenfolge (8) auf

das Halbleitermaterial (5).

2. Verfahren nach Anspruch 1,
bei dem das Aufwachsen des Halbleitermaterials (5) mittels metallorganischer Dampfphasenepitaxie in einem Epitaxie-Reaktor (9) erfolgt und Maskenmaterial im Epitaxie-Reaktor (9) auf das Substrat (1) bzw. auf die Initialschicht (2) derart aufgebracht wird, dass eine nicht geschlossene Maskenschicht (3) entsteht, in der die Fenster (4) zum Substrat (1) bzw. zur Initialschicht (2) bereits während des Abscheidens der Maskenschicht (3) ausgebildet werden.
3. Verfahren nach 2, bei dem gegebenenfalls die Initialschicht (2) ebenfalls bereits im Epitaxiereaktor (9) in-situ auf das Substrat (1) aufgebracht wird.
4. Verfahren nach mindestens einem der vorangehenden Ansprüche, bei dem ein senkrecht zur Substratebene liegender Querschnitt der Gruben (41) vorzugsweise V-artig und/oder U-artig ausgebildet ist.
5. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, bei dem das Halbleitermaterial (5) eine Mehrzahl von Schichten unterschiedlicher Zusammensetzungen aufweist.
6. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, bei dem das Halbleitermaterial (5) unter Anwendung einer ELOG-Technik aufgewachsen wird.
7. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, bei dem das aufgewachsene Halbleitermaterial (5) eine weitgehend plane Oberfläche (7) aufweist.
8. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, bei dem die Maskenschicht (3) eine gitterartige oder eine

netzartige Struktur aufweist.

9. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche,
bei dem die Maskenschicht (3) Siliziumnitrid enthält.

5

10. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche,
bei dem das Halbleitermaterial (5) und/oder die Bauelement-Schichtenfolge eine Verbindung von Elementen der dritten und fünften Hauptgruppe enthält.

10

11. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche,
bei dem das Halbleitermaterial (5) und/oder die Bauelement-Schichtenfolge (8) ein Nitrid-Verbindungshalbleitermaterial enthält.

15

12. Verfahren nach mindestens einem der vorangehenden Ansprüche, bei dem das Halbleitermaterial (5) eine Zusammensetzung aus dem System $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ mit $0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$ und $x+y \leq 1$ enthält.

20

13. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche,
bei dem das Substrat (1) Silizium, Siliziumkarbid, und/oder Saphir enthält.

25

14. Elektronischer Halbleiterkörper,
dadurch gekennzeichnet, dass
er nach einem Verfahren gemäß einem der vorherigen Ansprüche hergestellt ist.

30

15. Elektronischer Halbleiterkörper nach Anspruch 14,
der ein strahlungsemittierender Halbleiterchip, insbesondere ein Lumineszenzdiodechip oder ein Laserdiodechip ist.

35

Zusammenfassung

Verfahren zum Herstellen einer Mehrzahl von Halbleiterkörper und elektronischer Halbleiterkörper

5

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Herstellen einer Mehrzahl von Halbleiterkörper, insbesondere auf der Basis von Nitrid-Verbindungshalbleitermaterial, das zumindest die folgenden Verfahrensschritte umfasst:

- 10 (a) Ausbilden einer Maskenschicht (3) über einem Substrat (1) oder über einer Initialschicht (2), die mehrere Fenster (4) zum Substrat (1) bzw. zur Initialschicht (2) aufweist und auf die sich ein in einem späteren Verfahrensschritt auf das Substrat (1) aufzuwachsendes Halbleitermaterial (5) im We-
- 15 sentlichen nicht oder im Vergleich zum Substrat (1) wesentlich schlechter aufwachsen lässt,
- (b) Rückätzen des Substrates (1) bzw. der Initialschicht (2) in den Fenstern (4), derart, dass ausgehend von diesen im Substrat (1) oder in der Initialschicht (2) Gruben (41) aus-
- 20 gebildet werden,
- (c) Aufwachsen des Halbleitermaterials (5) auf das Substrat (1) oder auf die Initialschicht (2), derart, dass ein laterales Wachstum begünstigt wird und das Halbleitermaterial zunächst in erster Linie ausgehend von den Flanken
- 25 (43) der Gruben (41) zu deren Mitte (42) hin aufwächst und dort einen Koaleszenzbereich (61) bildet, so dass Defekte im Substrat (1) bzw. in der Initialschicht (2), die auf die Flanken (43) der Gruben (41) treffen im Halbleitermaterial zur Mitte der Gruben (41) hin abknicken und nachfolgend ausgehend von den Fenstern (4) die Maskenschicht (3) überwächst und jeweils zwischen benachbarten Fenstern (4) über der Maskenschicht (3) zusammenwächst und dort einen weiteren Koaleszenzbereich (62) bildet,
- 30
- (d) Aufwachsen einer Bauelement-Schichtenfolge (8) auf das
- 35 Halbleitermaterial (5).

(Figur 1d)

FIG. 1a

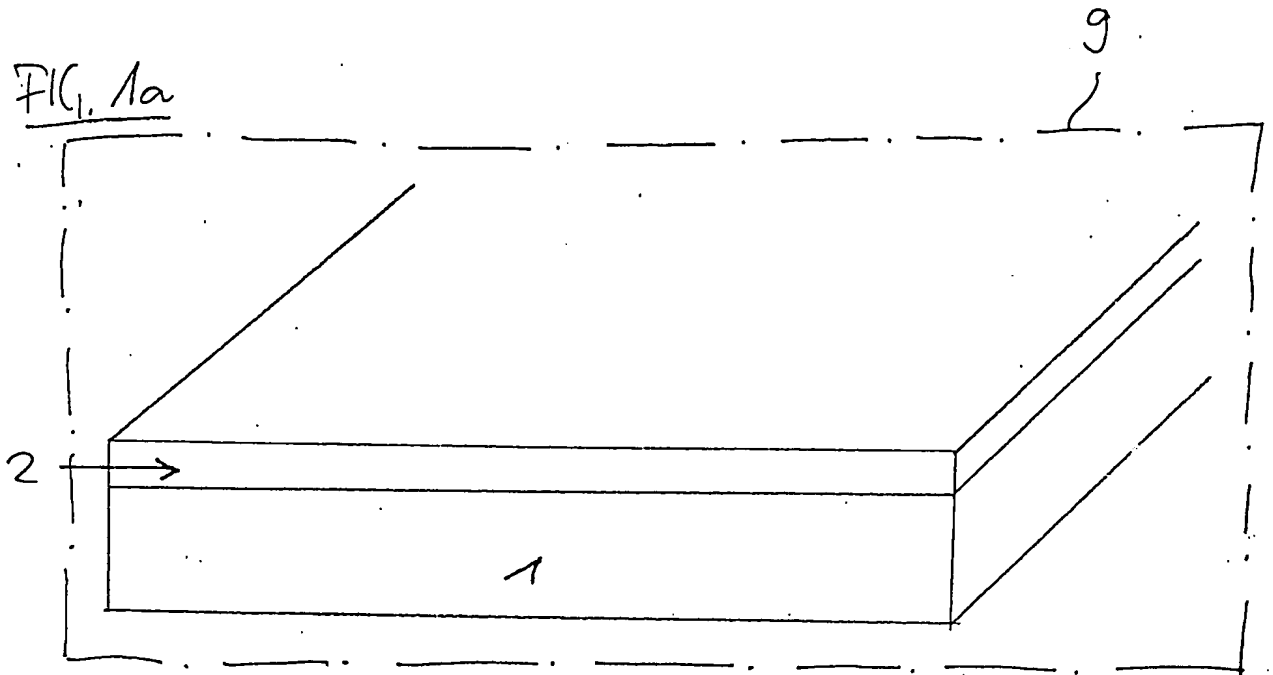


FIG. 1ba

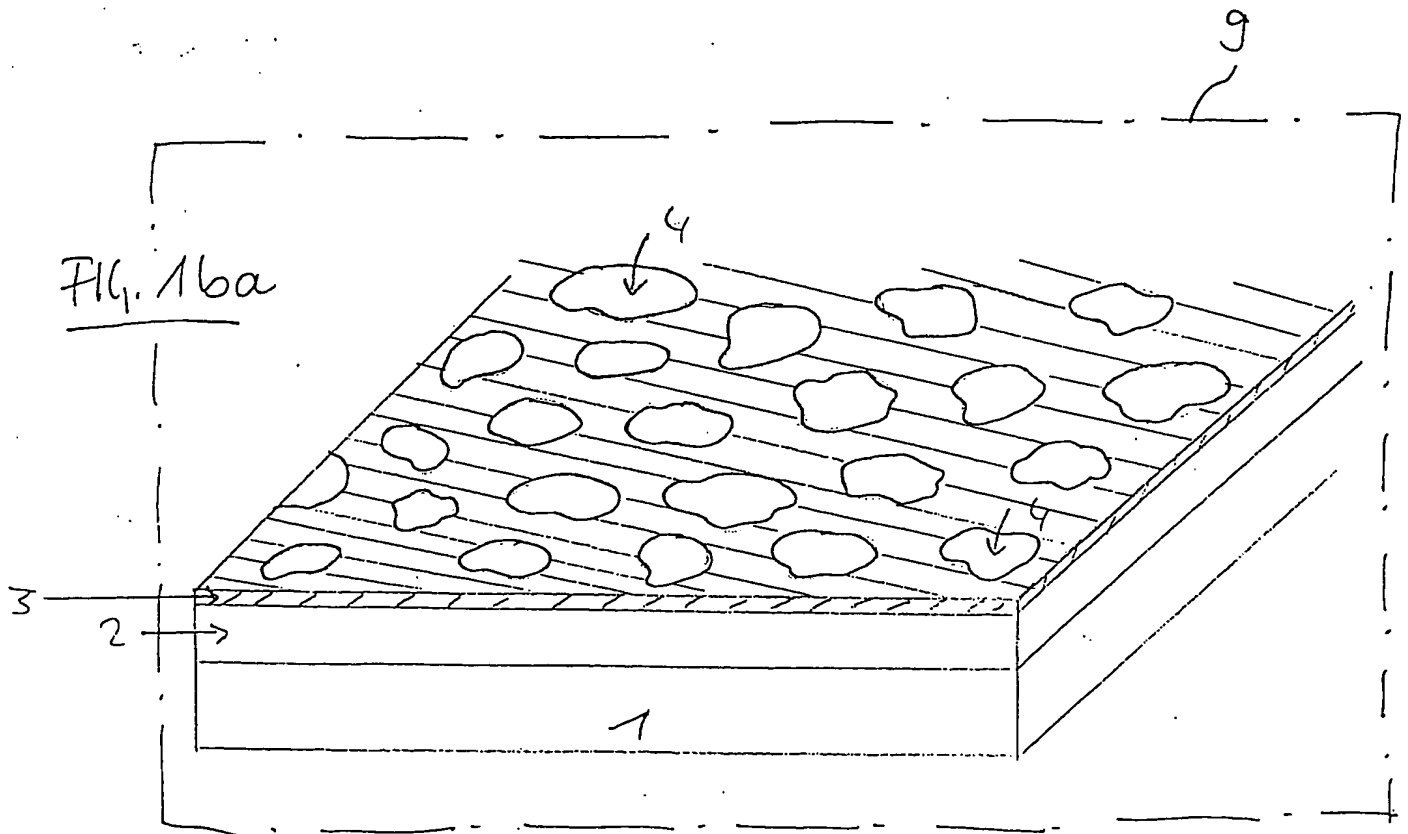


FIG. 1b

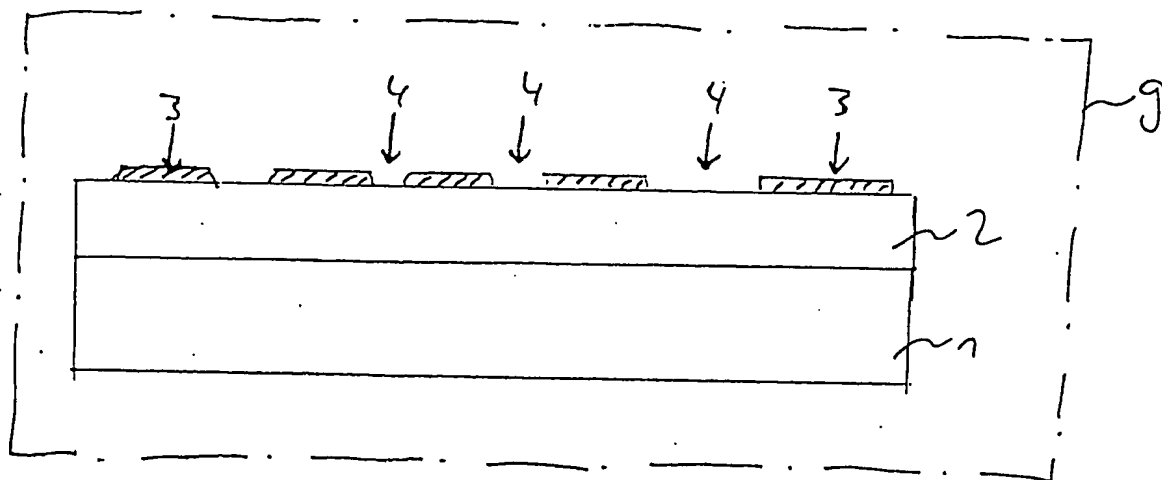


FIG. 1c

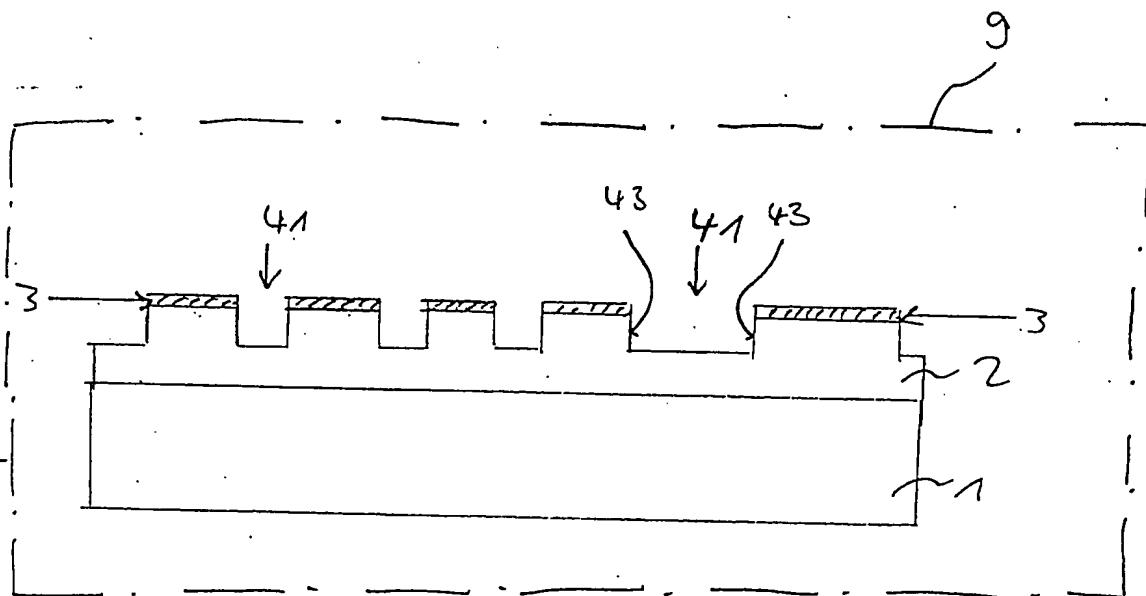
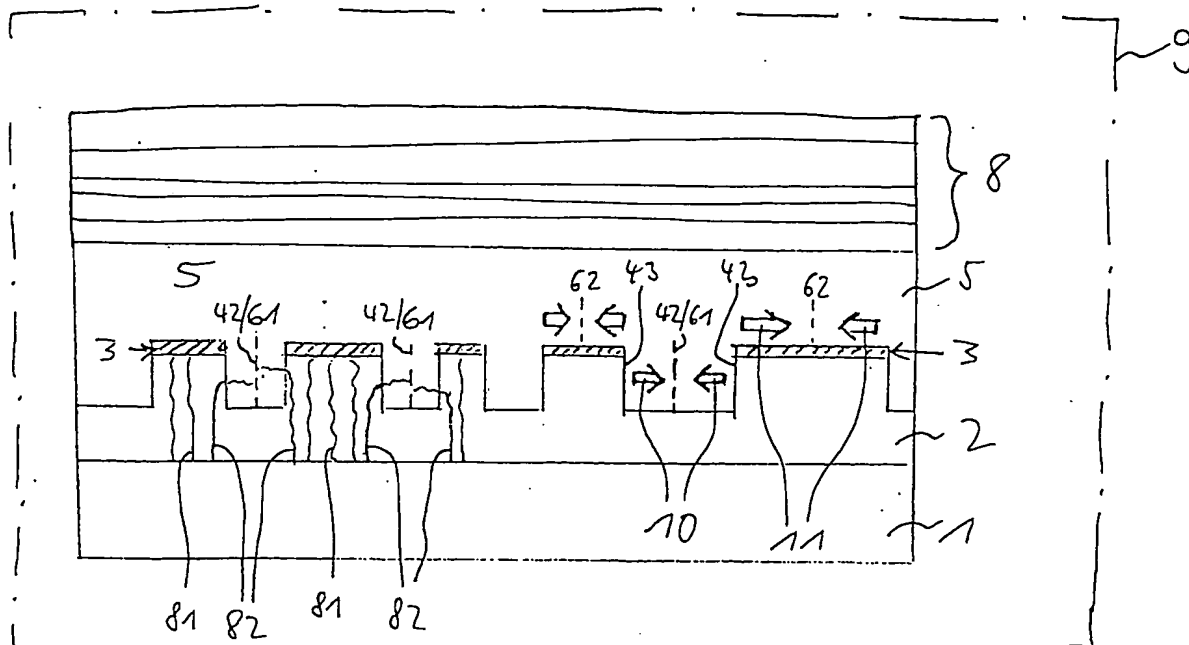


FIG. 1d



P2003,0086

3/4

FIG. 2a

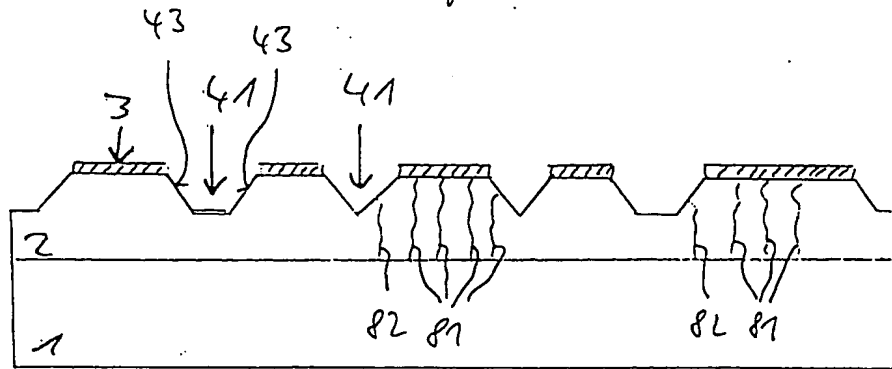


FIG. 2b

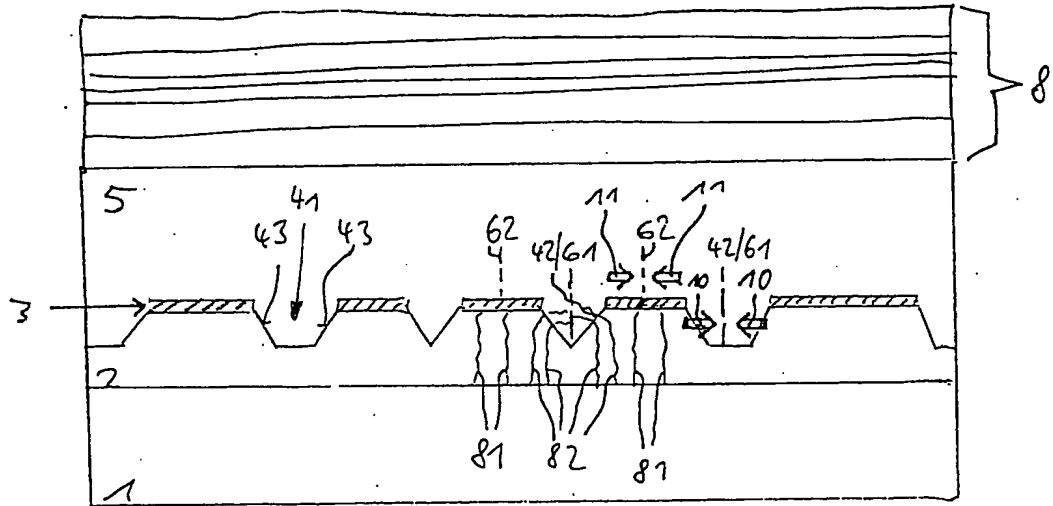


FIG. 3

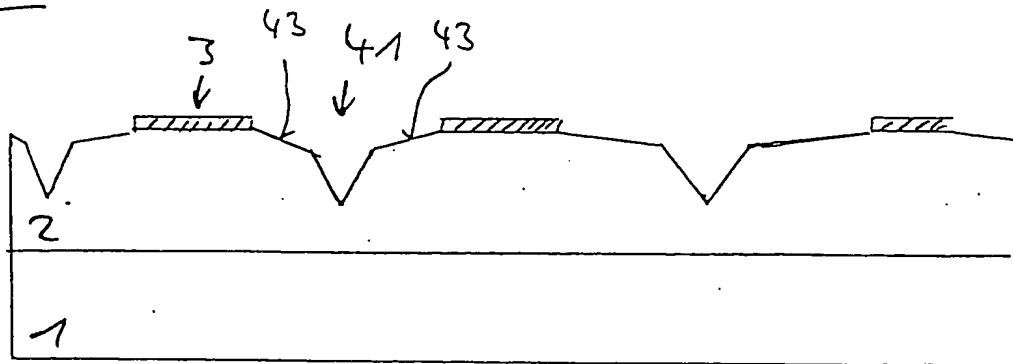


FIG. 4

